

SVEUČILIŠTE U SPLITU
POMORSKI FAKULTET

Ivan Grubišić

BRODOVI NOVE GENERACIJE

ZAVRŠNI RAD

Split, 2016.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
POMORSKI FAKULTET

STUDIJ: POMORSKE TEHNOLOGIJE JAHTA I MARINA

BRODOVI NOVE GENERACIJE

ZAVRŠNI RAD

MENTOR:

Prof. dr. sc. Joško Dvornik

STUDENT:

Ivan Grubišić (MB: 6073091)

Split, 2016.

SAŽETAK

Brodovi nove generacije pojam je koji označava sva plovna sredstva koja određenim ili svim svojim značajkama, konstrukcijskim i propulzijskim čine tehnološki suvremeni plovni objekt koji svojom brzinom postavlja gornje granice u tehnološkom napretku brodogradnje. Za brodove nove generacije je bitno da uz povećanje maksimalne brzine zadovoljavaju postojeće sigurnosne kriterije koji plovidbu pospješuju te čine sigurnijom, udovoljavajući pritom strogim ekološkim standardima. Brodovi nove generacije su nusprodukt moderne tehnologije te su upravo brodovi bili tehnološki oslonac razvoja pritom se i sami razvijajući do danas suvremenih mega-plovećih struktura. Naime velika većina novih rješenja u suvremenoj brodarskoj industriji kreće se upravo u smjeru povećanja brzine broda kroz formu broda i suvremena rješenja u propulziji te savladavanje otpora vode i vjetra. Današnji ritam života, potrebe tržišta i ljudi ne mogu prihvatiti brodove brzina od 10 do 15 čvorova (čv). Brodovi nove generacije pronašli su svoje mjesto za razvoj i primjenu u današnjem svijetu.

Ključne riječi: brodovi nove generacije, brzina, konstrukcija, otpor vode i zraka

ABSTRACT

Term new generation ships, describe all navigable structures that with some or all of its features, construction and propulsion technology make modern craft that sets the upper limits of technological advances of shipbuilding. Increase of maximum speed of new generation ships meet existing safety criteria that facilitate navigation and make it safer, while complying with strict environmental and ecological standards. The ships of the new generation are byproduct of modern technology and the ships were technological support of development while themselves developing up to date modern mega-floating structures. Vast majority of new solutions in the modern shipping industry moves right in the direction of increasing the speed of the ship through the form of the ship and modern solutions in propulsion and overcoming water and wind resistance. Modern pace of life, the needs of the market and people today can not accept the ships with speed between 10 to 15 knots (kt). New generation ships find their place in the development and application in today's world.

Key words: new generation ships, speed, construction, water and air resistance

SADRŽAJ

| | |
|---|-----------|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. KARAKTERISTIKE BRODOVA NOVE GENERACIJE | 2 |
| 3. SUVREMENA FORMA I OTPOR | 3 |
| 3.1. BRODOVI PREMA FORMI I BRZINI | 5 |
| 4. BRZI BRODOVI..... | 8 |
| 4.1. BRODOVI SA MALOM POVRŠINE VODENE LINIJE | 9 |
| 4.2. BRODOVI SA ZRAČNOM ŠUPLJINOM | 11 |
| 4.3. HIDROKRILA | 13 |
| 5. VRLO BRZI BRODOVI | 14 |
| 5.1. BRODOVI SA POVRŠINSKIM UČINKOM | 15 |
| 5.2. LEBDJELICE | 20 |
| 5.3. WIG EFEKT | 21 |
| 6. SUVREMENA RJEŠENJA | 23 |
| 6.1. ELEKTRIČNA PROPULZIJA NA BRODU | 24 |
| 6.2. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE NA BRODU | 27 |
| 7. ZAKLJUČAK..... | 30 |
| LITERATURA..... | 31 |
| POPIS ILUSTRACIJA | 32 |
| POPIS KRATICA | 33 |

1. UVOD

Brod je plovno sredstvo koje svojom konstrukcijom i veličinom osigurava nesmetan i siguran prijevoz ljudi i dobara. Svi brodovi imaju konstrukcijski oblik koji im osigurava potreban uzgon za plutanje na vodi. U današnjem vremenu brod se određuje kao visoko informatizirani i automatizirani tehnički sustav visoke kapitalne vrijednosti, koji zbog specifičnosti uslijed njegovog korištenja podliježe veoma strogim standardima kvalitete i sigurnosti. Brod je jedan od najidealnijih i najsloženijih sredstava prijevoza, kojim se odvija preko dvije trećine svjetske trgovine. Njegove forme i funkcija predmet su stalnog usavršavanja a suvremena tehnologija omogućuje gradnju većih, bržih, kompleksnijih i kvalitetnijih brodova.

Upravo kod brodova nove generacije susreću se klasične forme trupa ali i suvremena rješenja koja omogućuju povećanje brzine broda, sigurnost plovidbe te smanjenje troškova prijevoza. Ono što uz konstrukcijske i propulzijske karakteristike dodatno definira brod nove generacije je svakako navigacijska i sigurnosna oprema broda, mogućnost korištenja obnovljivih izvora energije(sunca, vode i vjetra) za propulziju broda ali i za osnovne životne potrebe posade, te mogućnost spajanja jednog takvog plovnog objekta u pametan i u što većoj mjeri samodostatan sustav koji će maksimalno služiti svojoj namjeni u kojem god obliku bila predviđena njegova svrha.

Ovaj rad u nekoliko zasebnih poglavlja pokušati će objasniti što detaljnije značajke brodova nove generacije, prikazati način gradnje takvih brodova ali i njihovu namjenu sa svim prednostima. Suvremena konstrukcija i savladavanje otpora, vrste brodova nove generacije i njihova brzina, suvremena rješenja u formi broda i propulziji, korištenje obnovljivih izvora energije kao i budućnost brodova nove generacije glavna su poglavlja koja će pokušati predložiti sliku broda nove generacije danas i kako će on izgledati sutra.

2. KARAKTERISTIKE BRODOVA NOVE GENERACIJE

Brodovi nove generacije su kako je u uvodu i navedeno, brzi i vrlo brzi brodovi suvremene forme koji su prvenstveno određeni svojim naprednim mogućnostima u usporedbi s brodovima sa prosječnim brzinama između 20 i 30 čv. To su brodovi specifičnih formi i rješenja koja se više ne gledaju kao luksuz već kao potreba. Brodovi koje je lako uočiti u suvremenom putničkom prijevozu, vojnoj industriji i sličnim namjenama a koji su ujedno i brodovi nove generacije su trotrupci, hidrokrila i brodovi na zračnom jastuku. Neki od ovih brodova pronašli su svoju primjenu uglavnom u putničkom prijevozu kao što su hidrokrila dok plovila kao što su brodovi sa površinskim učinkom (engl. *Surface Effect Ships* - *SES*) i brodovi sa efektom krila pri morskoj površini (engl. *Wing in Ground Ships* - *WIG*) nisu ni poznata široj javnosti kao ni njihove mogućnosti koje u usporedbi sa mogućnostima standardnih deplasmanskih i poludeplasmanskih brodova ponekad djeluju nestvarno. Osim svojom brzinom ova vrsta brodova odstupa i samim svojim izgledom tj. svojom suvremenom konstrukcijom i formom.

Forma broda je oduvijek bila kompromis između nosivosti, prostora za ukrcaj tereta, što manjeg otpora a što većeg stupnja propulzije, primjerenog stabiliteta te dobre sigurnosti broda i posade. Što je forma broda idealnija tako je i potreba vanjske pomoći za kretanje broda sve manja. Uz konstrukciju što idealnije forme broda rješenje do kojega se došlo kod najbržih brodova nove generacije je da površina trupa broda koja dira površinu mora bude što manja, kao kod broda lebdjelice na zračnom jastuku prikazanog na slici 1.



Slika 1. Brod na zračnom jastuku [preuzeto sa: www.hovercraft.com]

Imati takvu idealnu konstrukciju koja bi omogućila kretanje broda kroz vodu uz minimalnu pomoć propulzije znači veliku uštedu u ekonomskom smislu broda, a glavna prepreka na tom putu je otpor vode ali i sama potrošnja propulzora. Savladavanje otpora vode problem je s kojim se brodska industrija suočavala od samog početka brodogradnje te je upravo ta problematika kasnije dovela do razvoja hidrodinamike kao znanstvene discipline. Trenutno najveći ploveći tanker ima dužinu od gotovo 500 metara (m.) i širinu od 74 m. te svojim karakteristikama je definitivno riječ o brodu za čiju je izgradnju bilo potrebno primijeniti tehnološki najsuvremenije oblike gradnje pritom imajući u vidu sigurnosne aspekte koji će omogućiti sigurnu i pouzdanu plovidbu jednog takvog zahtjevnog, čak i za današnje kriterije glomaznog plovnog objekta. Iz tog razloga korisno je spomenuti neka rješenja koja se tiču konstrukcije forme broda a primijenjena su u gradnji velikih trgovačkih, putničkih i vojnih brodova u cilju povećanja brzine kao što je slučaj kod vojnog brod trotrupca na slici 2.

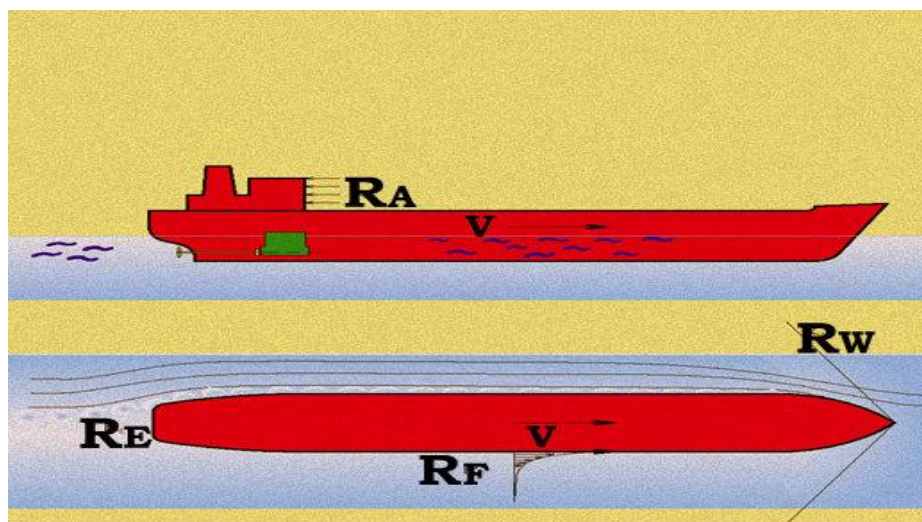


Slika 2. Američki vojni brod nove generacije [preuzeto sa: www.ses-marine.com]

3. SUVREMENA FORMA I OTPOR

Konstrukcijom suvremenih forma broda nastoji se u što većoj mjeri poništiti negativne učinke sila otpora. Na otpor broda uz konstrukciju trupa broda utjecaj imaju brzina broda i njegova istisnina. Problem u hidrodinamici broda je osnivanje broda koji će uz što manji otpor zadovoljavati postavljene zahtjeve vezane uz istisninu i brzinu. Uz statističke metode za određivanje otpora koje se još uvijek koriste u praksi, danas postoje suvremeni kompjuterski alati i programi bazirani na hidrodinamičkom modeliranju koji se koriste u procesu konstrukcije idealne forme broda od samog početka idejnog procesa izgradnje. Kod brzih i vrlo brzih brodova što je jedna od osnovnih karakteristika brodova nove generacije, sila otpora viskoznog trenja sudjeluje sa 45% u ukupnoj sili otpora broda dok sila otpora valova sa ukupno 40%, te sa svojih 85% u ukupnoj sili otpora broda ove dvije sile otpora stavljaju fokus na konstrukciju forme podvodnog dijela trupa broda i graničnog prostora ispod i iznad vodene linije kao dio rješenja. Na slici 3. prikazano je djelovanje različitih sila otpora (R) na brod sa konstantnom brzinom (V).

- **RF** -Sila otpora viskoznog trenja (nastaje zbog kretanja trupa broda kroz vodu),
- **RW** -Sila otpora valova (nastaje zbog formiranja sustava valova na površini mirne vode koji su posljedica promjena hidrodinamičkog tlaka uzduž broskog trupa),
- **RE** -Sila otpora vrtloga (nastaje stvaranjem vrtloga na trupu broda i njegovim privjescima),
- **RA** -Sila otpora vjetra (nastaje kretanjem nadvodnog dijela broda zrakom),
- **V** -Konstantna brzina broda.



Slika 3. Grafički prikaz djelovanje sila otpora na brod [3]

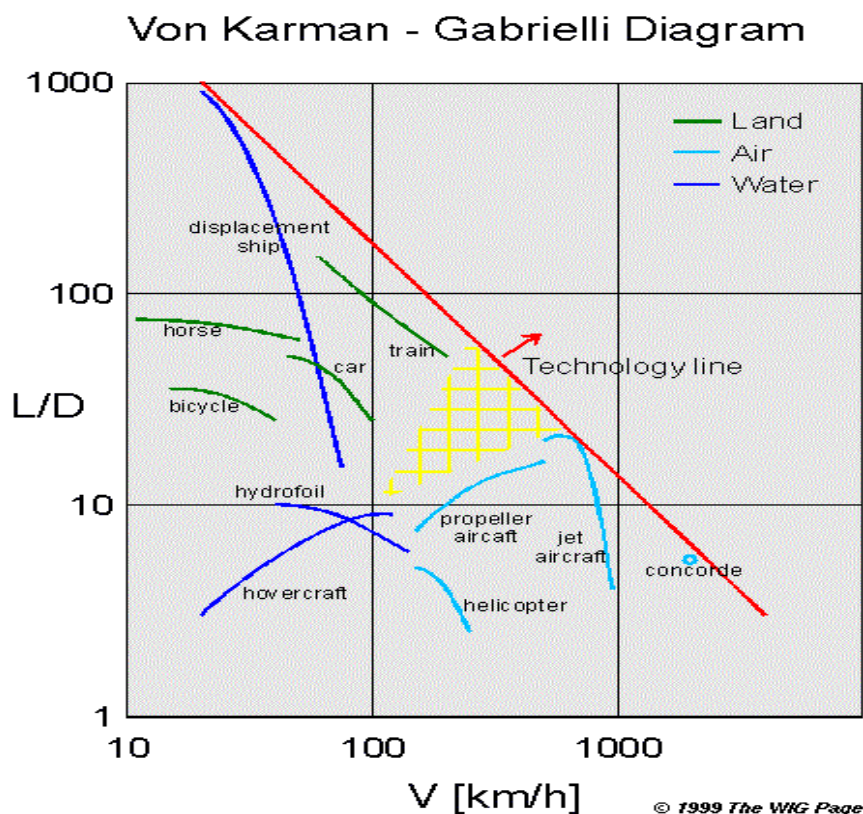
3.1. BRODOVI PREMA FORMI I BRZINI

Kod brzih i vrlo brzih brodova što je jedna od osnovnih karakteristika brodova nove generacije, sila otpora viskoznog trenja sudjeluje sa 45% u ukupnoj sili otpora broda dok sila otpora valova sa ukupno 40%, te sa svojih 85% u ukupnoj sili otpora broda ove dvije sile otpora stavljaju fokus na konstrukciju forme podvodnog dijela trupa broda i graničnog prostora ispod i iznad vodene linije kao dio rješenja.

Današnje forme brzih brodova nove generacije poredane od najmanje do najveće moguće brzine plovila predviđene za komercijalne svrhe danas su kako slijedi:

1. Deplasmanski brodovi ; $V \leq 23$ čv
2. Poludeplasmanski brodovi ; $V \leq 26$ čv
3. Gliseri i brodovi potpomognuti hidrokrilima ; $V \leq 28-35$ čv
4. Brod sa malom površinom vodene linije (eng. *Small Waterplane Area Twin Hull – SWATH*) ; $V \leq 40$ čv
5. Brodovi sa zračnom šupljinom (eng. *Air Cavity Vessel*) ; $V \leq 45$ čv
6. Hidrokrilni brodovi ; $V \leq 50$ čv
7. Brodovi sa površinskim učinkom (eng. *Surface Effect Ships - SES*) ; $V \leq 65$ čv
8. Lebdjelice (eng. *Air Cushion Vehicle*) ; $V \leq 65$ čv
9. Plovila sa efektom krila pri morskoj površini (eng. *Wing in Ground Effect - WIG*) ;
 $V \geq 125$ čv
10. Ekranoplovi ; ≥ 125 čv

Prema prethodnom poretku brodova s obzirom na njihovu maksimalnu brzinu uočljivo je da sa više ili manje odstupanja isti poredak može označavati i poredak tipova brodova prema stupnju dodira sa površinom mora. Brzina klasičnih deplasmanskih brodova od 23čv jednaka je brzini od 42,5 km/h što znači da SES brodovi i brodovi lebdjelice sa svojih 60čv dostižu brzine od preko 110 km/h. Što je stupanj dodira sa morskom površinom manji to je i veća brzina određenog broda. Da bi se prikazao stupanj iskoristivosti različitih tipova brodova često se koristi Von Karman–Gabrieli dijagram.



Slika 4. Dijagram tehnološkog napretka brodova [prema Von Karman – Gabrielli]

Dijagram je modificirana verzija nastala radom stručnjaka koja vjerno prikazuje odnos dinamičkog uzgona i otpora (L/D) sa lijeve strane na y osi, prema konstantnoj brzini (V) prikazanoj na x osi dijagrama. Na isti način dijagram se može iščitavati i kao uzajamni odnos težine i snage poriva W/T (eng. *Weight/Power Impulse*) prema V . Granica dosadašnjih tehnoloških mogućnosti (eng. *Technology Line*) crvene je boje i ispod nje nalaze se plovila ali i svi ostali tipovi prijevoznih sredstava po brzini koji su pronašli primjenu u masovnoj proizvodnji i korištenju u svim vrstama prijevoza. U prethodnoj slici dijagrama nalazi se žuti kvadrant u centru nacrtu u kojem se s obzirom na sve navedene moguće omjere između $(L/D)/V$ i $(W/T)/V$ nalazi trenutačno područje razvoja suvremene pomorske industrije te se očekuje da će razvoj i konstrukcija izvan tehnološke crte doprinijeti mogućnosti da se i takva plovila proizvode i koriste u masovne svrhe. To je ujedno i kvadrant brodova nove generacije te jedina plovila za sada u ovom području su WIG brodovi.

Kada je riječ o maksimalnoj brzini vidljivo je na dijagramu da su su brodovi s WIG efektom i Ekranoplovi trenutno najbrži te mogu dosežati brzine preko 250 Km/h. Brodovi sa manjom dodirnom površinom (WIG, SES) su u današnje vrijeme uzeli velikog zamaha u razvoju pa se očekuje i sve veća potreba za izgradnjom. Brodovi nove generacije veliki prostor za vlastiti razvoj pronašli su u vojnoj brodskoj industriji diljem svijete i u mnogim slučajevima riječ je o brodovima sa iznadprosječnim karakteristikama brzine i stabilnosti. Kao što je rečeno da poredak po brzini pogotovo vrlo brzih brodova možemo gledati i kao poredak po površini oplakivane površine plovila sa vodom. Pri osmišljavanju suvremenih rješenja će potpune drukčije zahtjeve pri konstrukciji broda imati brodovi lebdjelice i recimo hidrokrila pa će u budućnosti biti potrebno definirati idealnu svrhu plovila s obzirom na sve prednosti i nedostatke što se tiče potrošnje goriva, nosivosti, brzine te mogućnosti plovidbe u različitim uvjetima.



Slika 5. Norveška SES korveta [preuzeto sa www.ses-marine.com]

4. BRZI BRODOVI

Kao brzi brodovi u svojstvu brodova nove generacije i njihovih maksimalnih brzina, definirani su brodovi sa prosječnim brzinama od 30čv do 50čv. Brodovi koji su brži od standardnih deplasmanskih i poludeplasmanskih brodova ali njihova šira primjena i razvoj nisu određeni da mogu postizati brzine iznad 50čv u komercijalne svrhe. Takvi brodovi su uz najsuvremenije glisere i brodovi sa malom površinom vodene linije koji su uglavnom dvotrupci, zatim brodovi sa zračnom šupljinom i suvremena hidrokrila. U današnje vrijeme hidrokrila su općepoznato pomorsko prijevozno sredstvo za prijevoz putnika te su upravo na jadranskoj obali idealni za brzo povezivanje obale i otoka. Uz hidrokrila ostala dva tipa brodova koja ćemo obraditi pod ovim poglavljem svoju komercijalnu primjenu još uvelike traže i prilagođavaju s obzirom na sve njihove prednosti ali i mane. Posebnost ovih brodova je ta što je njihova tehnološka rješenja u moguće kombinirati u svrhu stvaranja hibridnih plovila a najbolji primjer su brodovi sa malom površinom vodene linije koji koriste standardnu formu katamarana i tehnologiju brodova sa zračnom šupljinom te su kao takvi u mogućnosti ostvariti znatno veću brzinu. Zračna šupljina na velikim brodovima kao na slici 6. postiže znatne uštede u potrošnji goriva.

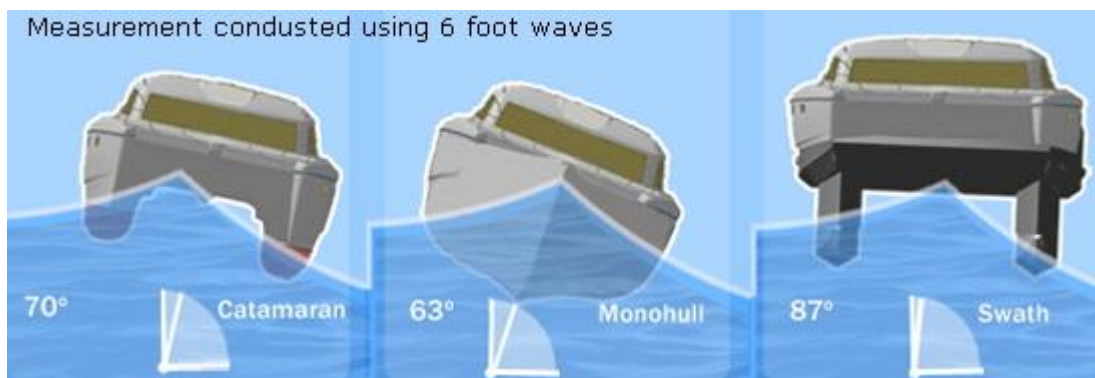


Slika 6. Brod sa zračnom šupljinom [preuzeto sa www.marineinsight.com]

4.1. BRODOVI SA MALOM POVRŠINOM VODENE LINIJE

Brodovi sa malom površinom vodene linije (eng. *Surface Effect Ship - SWATH*) su dvotrupci pri čijoj se konstrukciji vodilo računa da njihov trup ima zamjetno manji volumen na površini od običnih dvotrupaca. Smanjivanje samog volumena trupa na površini mora gdje energija valova najviše djeluje na brod dovelo je do povećanja stabilnosti broda čak i na otvorenom moru i pri velikim brzinama. Plovnost mu daju dvije podmornice koje su spojene na gornju platformu broda vrlo uskim potpornjima. Pri konstrukciji vodi se računa da što je manja površina vodene linije broda, raste i potreba za sve većom širinom nosive površine trupa između takozvanih podmornica, da bi se tako dobila potrebna stabilnost nad momentima koji su rezultat vjetrova ili jednostavnog premještanja putnika ili tereta sa jedne na drugu stranu plovila.

Kao što je vidljivo na sljedećoj slici, zbog specifične konstrukcije uronjenog dijela trupa odnos statičkih i dinamičkih sila koje djeluju na brod sličan je konceptu podmornice jer kao i kod nje većina deplasmana smještena je ispod pojasa djelovanja valova te manje zahvaćena njihovim djelovanjem. Na sljedećoj slici vidi se razlika između nagiba različitih tipova brodova pri valovima na visini od 1,8 m te je jasno uočljiva prednost brodova sa malom površinom vodene linije prema jednotrupcima (eng. *Monohull*) i katamaranima (eng. *Catamaran*). Nagib pri valovima visine 6 stopa (1,82m) za katamaran, jednotrupac i SWATH brod prikazan je na slici 7.



Slika 7. Grafički prikaz nagiba različitih brodova na valovima
[preuzeto sa www.marineinsight.com]

Također dizajn dvotrupca pruža ovom tipu broda velike i široke palube i veoma stabilnu platformu. Brod sa malom površinom vodene linije se prvi puta upotrijebio u 1960-ima i 1970-ima kao evolucija dizajnu katamarana za korištenje u svrhu oceanografskih i istraživačkih brodova ili za spašavanje podmornica. Vrlo često korišteni su kao istraživački brodovi upravo zbog izvanredne stabilnosti te je s njima moguće obavljati dugotrajna istraživanja u udaljenim prekooceanskim područjima nerijetko poznatim po lošem vremenu i visokim valovima.

Glavni nedostaci su veća cijena gradnje prema konvencionalnim katamaranima, kompleksan sustav kontrole, dublji gaz od katamarana te samim tim i veći zahtjevi pri održavanju. Današnja primjena ipak je nešto šira te su se u posljednje vrijeme počele raditi i luksuzne jahte na ovom principu, dok su veliku primjenu pronašli i u vojnoj industriji.

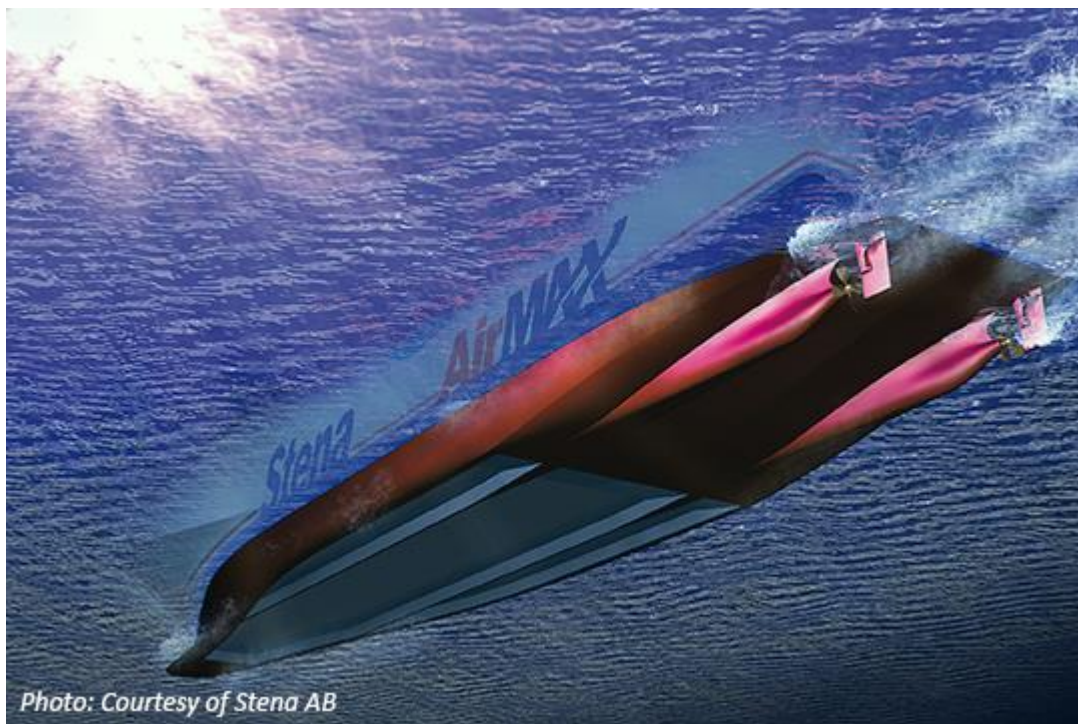


Slika 8. Brod sa malom površinom vodene linije [preuzeto sa www.bluebird-electric.net]

Sa prethodno nabrojane prednosti a prvenstveno povećana stabilnost pri većim valovima rezultat su smanjenih vertikalnih gibanja broda što u konačnici omogućuje dovoljno veliku platformu za različite namjene broda. Pilotski brodovi sa malom površinom vodene linije vrlo su pouzdani te je s njima omogućeno peljarenje većinom godine, osim u iznimno neprilagođenim vremenskim uvjetima.

4.2. BRODOVI SA ZRAČNOM ŠUPLJINOM

Sila Otpora viskoznog trenja (RA), koja nastaje zbog kretanja trupa broda kroz vodu smanjena je izvedbom trupa sa zračnom šupljinom (eng. *Air Cavity Hull*), sa širokim, plitkim udubinama ugrađenima s donje strane broskog trupa kako bi se smanjio otpor vode i dobilo na učinkovitosti potrošnje goriva goriva. Sistem zračne šupljine koristi isti osnovni princip kao kavitacijska superbrza torpeda, u kojem je objekt ili trup obložen mjehurićima zraka te može klizati kroz vodu mnogo lakše nego trup koji se kreće direktno kroz vodu bez obloge mjehurića. Većina otpora u vodi je uzrokovano trenjem koje stvara trup kada prolazi kroz vodu. Zrak ima manje od 1% viskoznosti vode, tako da u osnovi zrak u zračnoj šupljini "podmazuje" brod dok se kreće kroz vodu, omogućavajući lakši prolaz kao na slici 9.



Slika 9. Brod sa zračnom šupljinom [preuzeto sa www.orbitalvector.com]

Sistem zračne šupljine koristi široku šupljinu ispunjenu komprimiranim zrakom kako bi se omogućilo da veliki postotak broskog trupa ispod površine klizi kroz vodu s manje otpora. To dovodi do manjeg otpora i smanjuje potrošnju goriva. Kompresor u blizini pramca privlači zrak s palube, a pumpa ga šalje dalje u zračnu šupljinu. Zrak u šupljini zbog kretanja broda polako curi prema rubovima i krmi a zatim se razlika zraka koja je iscurila lako može zamijeniti sa zrakom iz kompresorom za održavanje optimalnog tlaka.

Ispitivanja pokazuju da kompresor u ovom slučaju koristit oko 1% ukupne snage broda, što u omjeru prema potrošnji goriva i zahtijevanoj snazi u konačnici dovodi do znatne uštede. Ispitivanja sistema zračne šupljine kod ovakvih brodova pokazala su smanjenje od 7% u potrošnji goriva. Veći brodovi, koji će biti stabilniji u vodi i koji će izgubiti manje zraka zbog manjeg bočnog nagibanja i uzdužnog gibanja imaju i veću uštedu. Teoretski je dokazano da je na ovaj način moguće smanjiti potrošnju goriva za 20% ali za sada je u praksi gornja granica od 10%, što ne znači da ona neće rasti. Sve ove brojke ovise da li je riječ o brodu koji se kreće u više ili manje mirnim vodama, o naletima vjetra olujnih voda, zbog čega puno više zraka iz podzemnih šupljina može isteći van šupljine.



Slika 10. Prikaz šupljine u trupu ispunjene zrakom [preuzeto sa www.yachtboutique.com]

Danas postoje takozvani procesi prenamjene trupa koji omogućuju izmjenu postojećeg trupa i nadogradnju sustava zračnih mjehura postojećih plovila u vrlo kratkom vremenu. Prosječni brod može očekivati da će nadoknaditi troškove prenamjene i ugradnje potrebnih sustava za pravilan rad sistema sa zrakom kroz uštedu goriva u 2 godine.

4.3. HIDROKRILA

Hidrogliser ili hidrokrila je brod koji ima podvodna krila koja ga pri gibanju izdižu na vodu. Dok stoji, hidrogliser pluta kao i svaki drugi brod, međutim kada se ubrza počinje se uzdizati iznad vode. Na koncu se trup izdigne iznad vode pa izgleda kao obični brod na skijama. Kako je trup vani otpor se smanjuje. Osim toga, budući da valovi prolaze ispod trupa vožnja je puno ugodnija. Kod većine hidroglisera dio podvodnog krila viri iz vode, tako da svako uzdizanje broda smanjuje uzgon, a svako ga poniranje povećava. Na taj način se održava ravnoteža između težine i uzgona, zbog čega brod stalno lebdi na približno istoj visini. Podvodna krila rade kao i zračna, to jest stvaraju dinamički uzgon skretanjem struje fluida. Zbog toga što je voda mnogo gušća od zraka krila mogu biti u odnosu na zrakoplovna patuljasta. Podvodna se krila postavljaju na potpornje pri pramcu i krmi.

Najmoćniji hidrogliseri danas imaju tri različita motora, dva dizelska motora za plovidbu broda kroz vodu pri malim brzinama i snažnu plinsku turbinu za podizanje na njihova hidrokrila i postizanje maksimalne brzine. Hidrogliseri se često koriste kao vrlo brzi trajekti, prikazan na slici 11. i brzi vojni patrolni brodovi.



Slika 11. Suvremena hidrokrila [preuzeto sa www.stingrayhydrofoil.com]

5. VRLO BRZI BRODOVI

Vrlo brze brodove u ovom slučaju definirali smo kao plovila koja postižu brzine preko 50čv ili otprilike 90 km/h te je njihov tehnološki razvoj predviđen i za veće brzine. Brodovi takvih mogućnosti su brodovi lebdjelice i brodovi sa površinskim učinkom kao i ekstremno brza plovila sa WIG efektom i ekranoplovi. Osnovna karakteristika ovakvih brodova je ta što je problem otpora vode riješen na revolucionaran način, plovila su jednostavno izašla iz vode ili su u kontaktu samo sa površinskim slojem vode. Najpoznatije plovilo dakako su brodovi lebdjelice ili jednostavnije brodovi na zračnom jastuku. Plovila ovakvih karakteristika koja mogu zadržati projektiranu brzinu i odnos dinamičkog uzgona prema otporu pri većim valovima su vrlo učinkovita. Plovila koja ćemo navesti kao vrlo brza i objasniti njihove osobenosti su redom:

- SES,
- Lebdjelice,
- WIG brodovi.



Slika 12. Plovilo sa WIG efektom [preuzeto sa www.wigcraft.com]

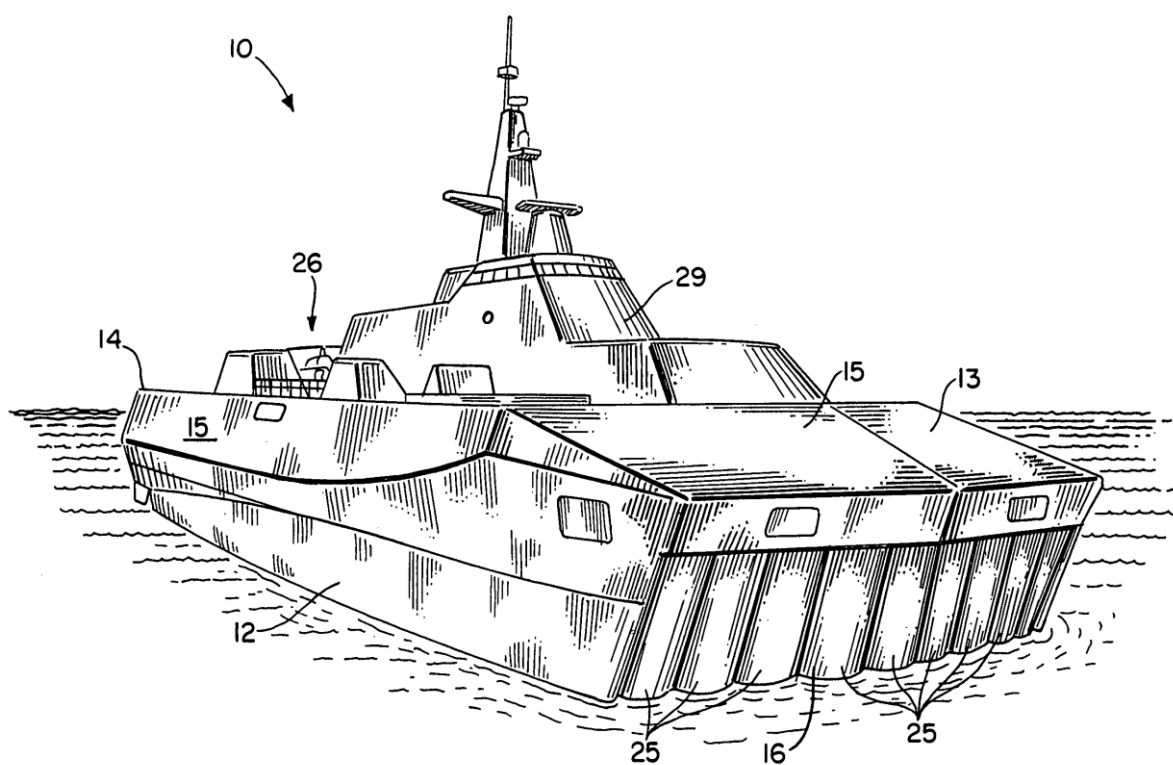
5.1. BRODOVI SA POVRŠINSKIM UČINKOM

Riječ je o brodu dvotrupcu koji dio istisnine poništava tlakom zračnog jastuka među trupovima. Kako je navedeno i objašnjeno u prethodnim dijelovima rada kratica mu je SES. Svojim odlikama oni su kombinacija brodova na zračnom jastuku (lebdjelica) i katamarana dvotrupca. Također su dizajnirani tako da mogu koristiti pogon na zračnim jastucima i standardnu propulziju. Uglavnom su građeni od dva uska trupna dijela broda međusobno spojena platformom. Trup broda radi se od lagane i vrlo čvrste legure aluminija a zračni jastuk stvara se kad se naprijed spusti polukruti štit a u prostor između dvodijelnog trupa upuhuje se zrak. Zrak se koristi za smanjenje ukupnog otpora tako što odvaja veliki dio podvodnog trupa od izravnog dodira s vodom. Kod malih tipova brodova zračna podrška koja nastaje upuhivanjem zraka predstavlja čak 85% uzgona broda pri plovidbi dok je kod većih brodova ona znatno manja. Ovakve brodove odlikuju izvanredne osobine. S jedne strane to je stabilni katamaran sposoban za brzinu do 25čv a s druge strane brza lebdjelica s brzinama iznad 60čv.

Najsuvremeniji SES brodovi imaju dvije zasebne pogonske jedinice, jednu za krstarenje i jednu za kretanje punom snagom, koje mogu raditi pojedinačno i zajedno. Da bi se postiglo gotovo stopostotno kretanje i minimalizirala potrošnja u svakoj situaciji rade uglavnom sa tri režima rada, KATAMARAN-LEBDJELICA 1-LEBDJELICA 2, što znači da uz standardne propulzore imaju i motore ventilatore koji im omogućuju kretanje uz vjetar. Motori ventilatori daju brodu sposobnost da se uvijek može kretati minimalnom brzinom od barem 3čv i kada mu je glavni pogon isključen a sve zahvaljujući protoku zraka iz zračnog jastuka na krmi. Glavna prednost im je stabilnost u svakoj vrsti mora koju im daje njihova forma, koja je kompromis između katamarana i obične lebdjelice. U početku ovi brodovi dizajnirani su da budu operativni samo na manjim i plićim područjima ali danas se koriste kao putnički linijski brodovi na većim udaljenosti zbog svoje brzine te kao vojni i brodovi raznih drugih namjena.

Gornja granica brzine određena kao gornji limit ovoga tipa broda bila je 80čv no njihov daljni razvoj posebice u vojnoj industriji pomaknuo je ovu granicu prema gore. Njihova najveća brzina danas kao putničkih brodova se kreće do maksimalnih 50čv, ali se upravo ohrabreni tehnološkim napretkom ubrzo može očekivati i rast brzine u komercijalnim djelatnostima. Mogućnost izrade ovakvih brodova danas se ne svodi se samo na kombinaciju katamarana dvotrupca i zračnog jastuka već i oblik broda sa jednim trupom i zračnim jastukom kao i oblik sa trećim trupom na prednjem dijelu konstrukcije. Da bismo objasnili principe pogona i mogućnosti ovakvih brodova u daljnjem dijelu navest ćemo konkretne primjere ovakvih brodova. Prikaz dijelova vanjskog gornjeg dijela trupa ovakvog broda nalazi se na sljedećoj slici 13. sa sljedećim pojedinačno navedenim dijelovima:

12-desni trup katamarana, 13-pramčani trup, 14-krmeni trup, 15-platforma koja veže lijevi i desni trup katamarana, 16-spoj između elemenata prednje zračne košuljice, 25-košuljica zračnog jastuka te 26 i 29-dijelovi nadgrađa.

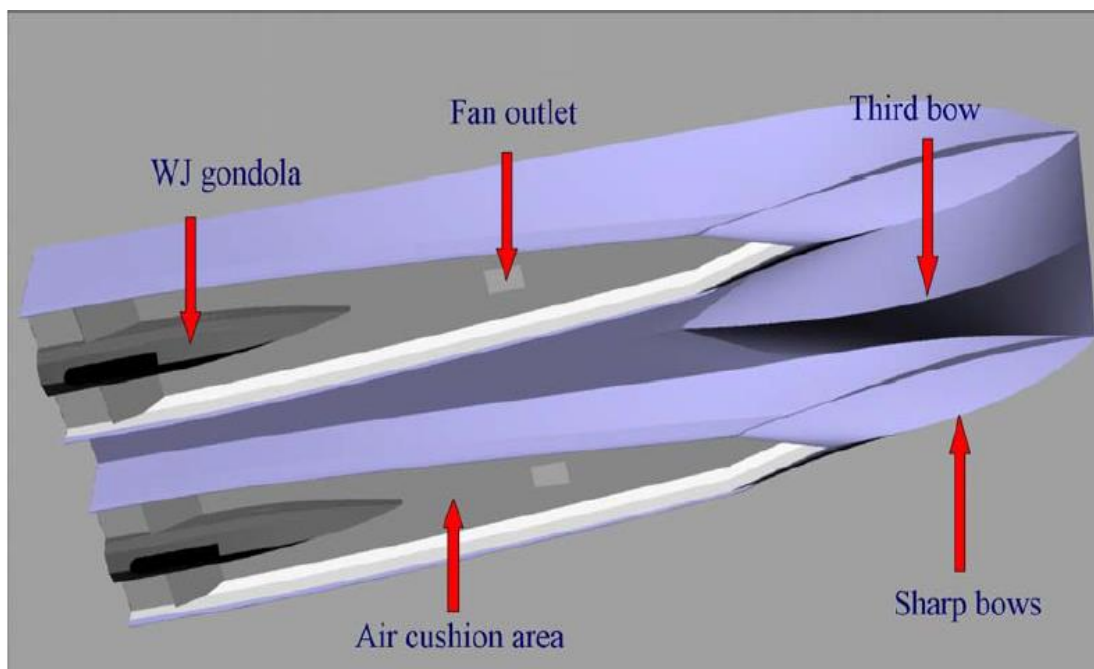


Slika 13. Nacrt broda sa površinski učinkom [prema knjizi patenata-patent US 7207285]

U komercijalnim svrhama izrade SES brodova ističe se norveška tvrtka SES Europe AS koja koncept SES brodova definira na malo drukčiji način. Naime pri izgradnji svojih brodova nije im potreban gumeni okvir (košuljica) kao kod standardnih lebdjelica što je velika prednost, već su zračne šupljine integrirane kao dio trupa broda.

Na slici 14. je konstrukcija upravo takvog trupa putničkog broda ASV C24 istog proizvođača. Dijelovi broskog trupa, pogona i opisa na slici označeni su kao:

- Vodeni propulzori (eng. *Water Jet Gondola - WJ*),
- Sustav za upuhivanje zraka (eng. *Fan Outlet*),
- Treći trup (eng. *Third Bow*),
- Zračna šupljina (eng. *Air Cushion Area*),
- Oštri pramčani dijelovi (eng. *Sharp Bows*).



Slika 14. Putnički brod ASV C24 [preuzeto sa www.seseu.com]

Kao što je vidljivo iz prethodne slike 14., zračne šupljine dio su trupa broda a dio gdje se upuhuje zrak u zračne šupljine nalazi se na dva dijela trupa broda. Vodeni propulzori nalaze se na određenoj dubini na krmenom dijelu trupa broda. Problem sa instalacijom vodenih propulzora na ovakvom tipu broda stvarao je otpor zbog oblika usisnog dijela propulzora gdje voda ulazi u motor kao i mogućnost da otpor zraka iz zračne šupljine u trupu poremeti rad motora tj. da zrak iz šupljine ulazi u motor. Oba problema riješena su posebnom izvedbom vodenih propulzora i dijela za usis vode kao i instalacija motora na određenoj dubini dobivenoj preciznim izračunima.

Sljedeća slika prikazuje vodeni propulzor kakav se koristi na ovakvim brodovima.



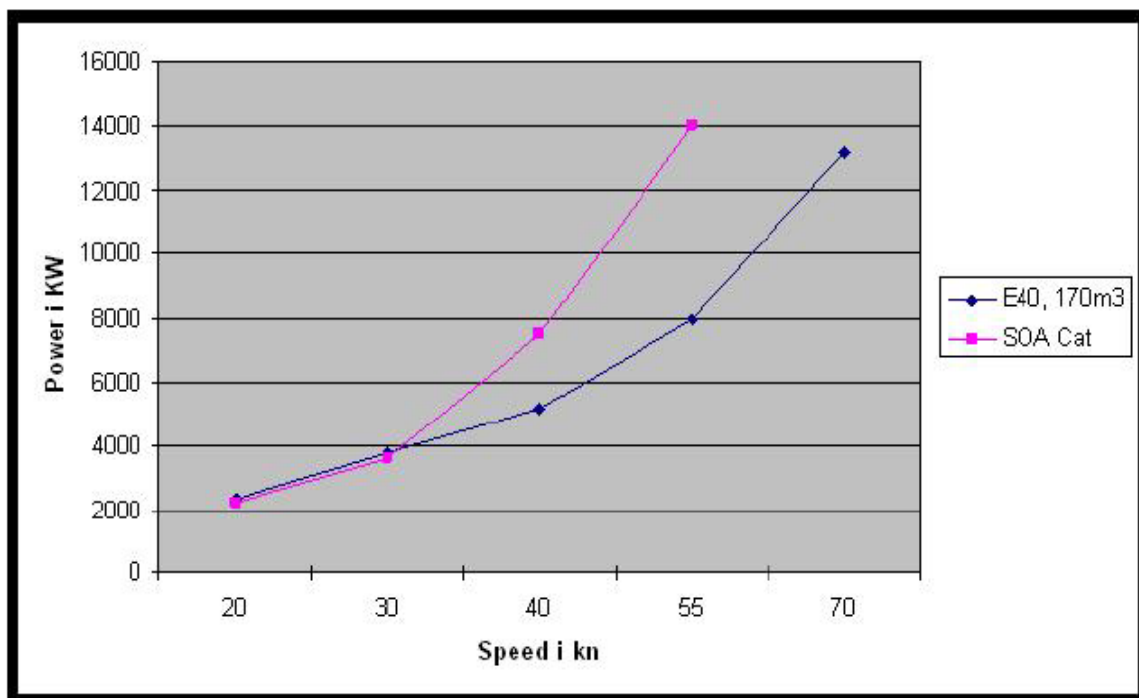
Slika 15. Vodeni propulzor [preuzeto sa www.seseu.com]

Nakon što su riješeni navedeni problemi, rezultat su dobra kombinacija između otpora i manevarskih sposobnosti broda za vrijeme male i velike brzine u mirnom moru i za velikih valova. Dakle postignut je najbolji mogući optimalan rada propulzije. Forma broda karakterističnih je oštih rubova pramčanog dijela te je dodan i treći manji trup na pramčanom dijelu zbog stabilnosti broda.

Rezultat svih rješenja primijenjenih pri gradnji ovog tipa broda nove generacije je ušteda od 40% pri velikim brzinama u usporedbi sa sličnim konvencionalnim tipovima broda. Konačna brzina broda je preko 50čv a dodatno ga odlikuje i mali gaz koji na veličini plovila od 25 m iznosi 1 m, kada je punog kapaciteta ili 0,5 m bez putnika.



Slika 16. Bočni izgled putničkog SES broda [preuzeto sa www.seseu.com]



Slika 17. Dijagram omjera snage i brzine SES broda i katamarana [preuzeto sa www.seseu.com]

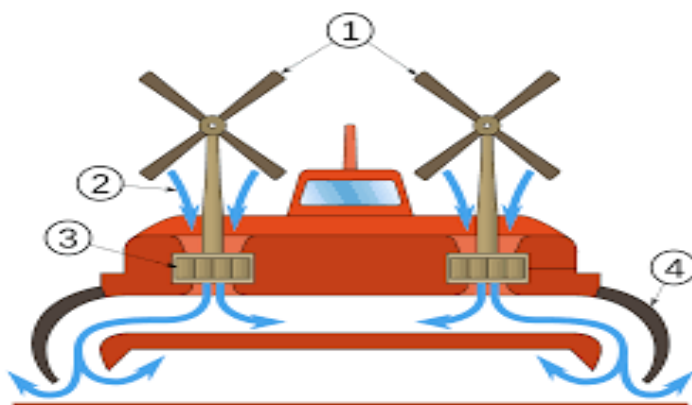
Na prethodnoj slici 17. prikazan je dijagram omjera sa sljedećim podacima:

- Snaga u kilovatima (eng. Power in kW),
- Brzina u čv (eng. speed in knots).

- Klasičan katamaran preko 40čv brzine zahtijeva izrazito veliku snagu motora. Odnos snage i brzine za klasični i SES tip broda je isti do 35čv a već na 55čv konvencionalni katamaran neučinkovitiji je za preko 40% što znači da mu je potrebno 40% više instalirane snage, propulzije i snage ventilatora, naspram SES katamarana. Što se tiče najsuvremenijeg pogona na SES brodovima, jedni od najbržih s obzirom na veličinu su dva ruska vojna hibridna broda iste serije „Bora“ i „Samum“. Sa Deplasmanom od 1050 t, ukupna snaga pogonskih agregata iznosi 56.000 KS. Posjeduju dva dizel motora svaki jačine 10.000 KS za kretanje u režimu katamarana i dvije plinske turbine ukupne jačine 36.000 KS za kretanje u režimu lebdjelice. Dužina ovakvih vojnih brodova je 64 m a maksimalna brzina kreće se preko 55čv.

5.2. LEBDJELICE

Lebdjelice (eng. *Air Cushion Ship*) su plovila na zračnom jastuku koja se mogu kretati na vodi, kopnu, močvarnim područjima i ledu. Kao i kod SES brodova zrak se ventilatorima upuhuje ispod ravnog trupa broda. Zrak koji se upuhuje ispod broda viši je od atmosferskog tlaka zraka iznad što dovodi do podizanja plovila zbog čega ono u konačnici lebdi. Time se omogućuje kretanje bez površinskog trenja pa je potrebna minimalna snaga za kretanje naprijed. Po ravnim površinama se može kretati na maloj visini, dok je za veće prepreke potrebna veća visina, za koju je potrebna i veća snaga.



Slika 18. Grafički prikaz rada ventilatora na lebdjelicama [preuzeto sa www.vympel.ru]

Kretanje prema naprijed ostvaruje se potiskom mlaza zraka sa posebnim ili istim motorom kao i za upuhivanje zraka u zračni jastuk. Zračni jastuk stvara se kad se naprijed spusti polukruti štit a u prostor između dvodijelnog trupa upuhuje se zrak. Uz standardne dizel motore za podizanje i propulziju, imaju uglavnom 2 propelera za kretanje prema naprijed. Dakle da bi se mogli kretati na kopnu i moru njihova propulzija radi na principu propelera sa zakrivljenim krilcima. Često se koriste kao poseban prijevoz u slučaju prirodnih katastrofa zbog mogućnosti kretanja u raznim uvjetim, kod djelovanja obalne straže i u vojne svrhe. Nedostatci su im velika buka, vibracije te podizanje oblaka prašine ili vodene kapljice, ovisno o površini kretanja i nemogućnosti svladavanja većih prepreka. Prednosti su im velike brzine naročito po vodi, koja je veća od većine brzih brodova i kreće se do maksimalnih 60čv.

5.3. WIG EFEKT

Kod plovila sa WIG efektom pri plovidbi u blizini tla javljaju se dvije pojave nazvane učinkom tla (WIG - učinak), od kojih se jedna promatra s pomoću raspona krila i druga s pomoću tetive krila. Obje pojave rezultiraju smanjenjem induciranog otpora, povećanjem uzgona, te u konačnici i povećanjem omjera dinamičkog uzgona i otpora. Inducirani otpor jest otpor induciran uzgonom jer i nastaje stvaranjem uzgona. Naime, statički tlak na donjoj strani krila plovila (ili pak trupa plovila forme aerodinamičkog profila) veći je od onog na gornjoj strani, a prosječna razlika ovih tlakova, umnožena s površinom krila daje silu uzgona. Na rubovima profila krila dodiruju se gornji i donji tlakovi, tako da statički tlak, koji je i veći s donje strane krila želi doći iznad profila krila, pri čemu se na rubovima krila stvaraju vrtlozi. Energija sadržana u vrtlozima doživljava se kao otpor i zapravo je čisti gubitak. Količina induciranog otpora ovisi o raspodjeli uzgona po širini krila i njegovoj vitkosti. Približavanjem krila ili pak trupa plovila s aerodinamičkim profilom krila u letu prema tlu, nema dovoljno mjesta za potpuno razvijanje vrtloga, pa je istjecanje donjeg tlaka manje, vrtlozi su slabijeg intenziteta i pomaknuti su nešto izvan krila, te je samim tim i efektivna vitkost nešto veća u odnosu na onu čisto geometrijsku. Drugim riječima, približavanjem tlu, iz razloga visokog tlaka ispod krila, stvara se jedan vid zračnog jastuka koji je izraženiji što je veće približavanje krila plovila tlu.



Slika 19. Plovilo sa WIG efektom [preuzeto sa www.wigcraft.com]

U nekim slučajevima zrak ispod krila može čak i stajati u mjestu, ili se pak gibati zajedno s aerodinamičkim profilom, stvarajući tako najveći mogući tlak, nazvan tlak. Takav tlak je naime stlačeni zrak, nastao gibanjem tijela kroz medij. Ovakav let, temeljem učinka navedenog tlaka, slikovito se može opisati letom lebdjelice, koja plovi na zračnom jastuku. I konačno, približavanjem tlu ovako osmišljenog plovila povećava se uzgon, s vrlo malim ili pak nikakvim povećanjem otpora. Ovaj se fenomen može iskoristiti i pri oblikovanju trupa prema parametrima krilnog - aerodinamičkog profila. Snaga pri krstarenju po jedinici težine, vrlo je niska kod plovila s WIG-učinkom u usporedbi s drugim sredstvima. Također troškovi korištenja plovila s WIG -učinkom ne ovise samo o njihovoj dobroj prometnoj učinkovitosti, već i o troškovima održavanja, uloženog i vraćenog kapitala, posadi i osiguranju, a takvi troškovi kod ovih plovila, zaista su minimizirani.

Rostislav Alexeyev izumio je sredinom dvadestog stoljeća Ekranoplov kod kojeg su krila znatno kraća od usporedivog zrakoplova, a takva konfiguracija zahtijeva visoki stražnji postavljeni horizontalno rep za održavanje stabilnosti. Ratni Ekranoplan koji je izgrađen prema njegovoj ideji bio je dužine 92 m te je letjelica bila poznata pod nazivom kaspisko morsko čudovište. Dizajniran je da lebdi na visini od 3 m iznad razine mora a maksimalna brzina mu je 270čv.



Slika 20. Ekranoplov [preuzeto sa www.flightglobal.com]

6. SUVREMENA RJEŠENJA

Brodovi nove generacije kao koncept koji spaja najsuvremenija rješenja sa konvencionalnom svrhom broda stalni su predmet napretka na krilima suvremene tehnologije koja se osim povećanja brzine plovila kao temeljne ideje bavi i mogućnostima obnovljivih izvora energije, električne propulzije kao i svih ostalih rješenja u svrhu poboljšanja brzine, stabilnosti i potrošnje. Suvremena rješenja na brodovima danas ogledaju se u korištenju obnovljivih izvora energije ali i primjene električnih hibridnih vrsta propulzije ali i svih formi trupa opisanih vrsta brodova nove generacije te velikih mogućnosti kombiniranja istih u što idealnije plovilo kao što je solarni brod na slici 21.

U ovom poglavlju dan je okvirni ali ipak precizan smjer razvoja brodskog stroja i forme broda.

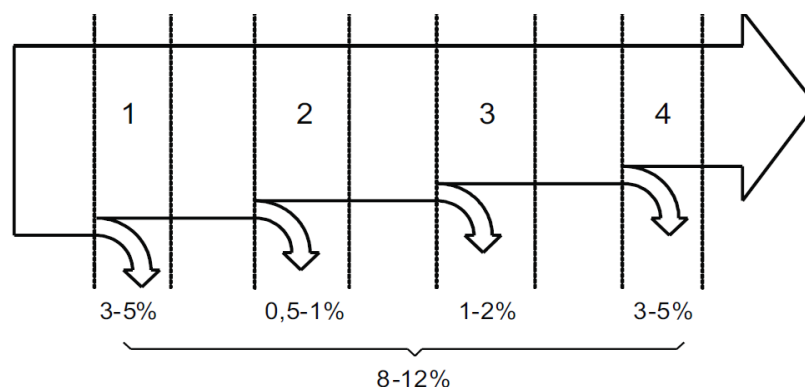


Slika 21. Solarni brod [preuzeto sa www.planetsolar.org]

6.1. ELEKTRIČNA PROPULZIJA NA BRODU

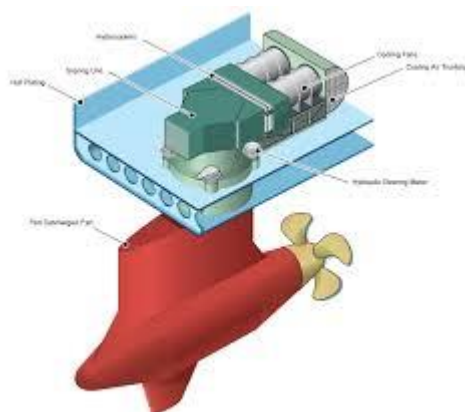
Prvo plovilo na električni pogon predstavio je 1838. godine Jacobi te od tada kreće veliki razvoj električne propulzije koja je oduvijek imala velike eksploatacijske prednosti pred ostalim vrstama pogona, što je prvenstveno i poticalo njen razvoj. Početkom dvadesetog stoljeća dizel motori nisu bili u mogućnosti izvesti preokret tj. reverziranje pogona što je električna propulzija mogla bez većih problema. Upravo zbog toga u sljedećim godinama krenuo je velik procvat električne propulzije i to prvenstveno u vojne svrhe kada su izgrađeni i prvi veći ratni i putnički brodovi s turboelektričnom propulzijom. Sredinom dvadesetog stoljeća nakon pojave modernih dizel motora, reduktora i vijaka s promjenjivim korakom električna propulzija je privremeno nestala iz glavnog fokusa brodograđevne industrije. Upravo zbog učinaka električne propulzije koji utječu na ekonomsku efikasnost broda i to prvenstveno smanjenjem potrošnje goriva, električna propulzija definitivno je neizostavni dio kompleksne cjeline kada pričamo o brodovima nove generacije. Kod električne propulzije u električnom prijenosu energije do brodskog vijka izgubi se ukupno između 8% i 12% snage. Kako se kod direktne mehaničke propulzije zavisno od broja okretaja i ostalih čimbenika gubi samo između 2% i 4% snage, električni prijenos je energetske gledano lošiji. Sljedeća slika 22 prikazuje četiri stupnja konverzije energije:

- 1-mehaničko-električna konverzija u sinkronim generatorima,
- 2-transformacija napona u propulzijskim transformatorima,
- 3-regulacija frekvencije i napona u propulzijskim pretvaračima frekvencije,
- 4-električno-mehanička konverzija u propulzijskim elektromotorima.



Slika 22. Grafički prikaz 4 stupnja konverzije energije na brodu [prema Vučetić i Čekada 2006]

Podtrupni potisnici (eng. *Azimuthing Podded Drive* - *AZIPOD*) je brodska pogonska jedinica koja se sastoji od električnog pogonjenog vijka montiranog u kućištu kojeg je moguće upravljati a prikazana je na slici 23.



Slika 23. Podtrupni potisnik [preuzeto sa www.new.abb.com]

Kučište vijka je obično usmjereno prema pramcu zbog nesmetanog toka fluida i učinkovitijeg rada. Budući se može okretati oko svoje osi, potisak se može primijeniti u bilo kojem smjeru. Azipod potisnici daju brodovima veću upravljivost i omogućuju im kretanje krmom skoro učinkovito kao i pramcem. Novi kontra-rotirajući vijak koji se postavlja s druge strane kućišta postiže još veću učinkovitost propulzijskog sustava. U tradicionalnom azimutnom pogonskom sustavu motor se nalazi unutar trupa, a vijak je pogonjen preko osovine. U Azipod sustavu, električni motor je smješten unutar kućišta, a vijak je spojen izravno na vratilo motora. Kao propulzijski motor se koriste sinkroni i asinkroni električni motor, a u najsuvremenijim električnim motorima azimutalnim pogonima permanentno uzbuđeni sinkroni motor je znatno manje težine i dimenzija u odnosu na standardni sinkroni, pa su tako dodatno poboljšana hidro-dinamička svojstva broda. Izbjegavajući korištenje propelerske osovine, vijak se može postaviti na većoj dubini od dna krme broda gdje je strujanje fluida stabilnije, što daje veću iskoristivost vijka.

Kod dizel mehaničke propulzije, položaj, kut i promjer brodskog vijka određen je položajem pogonskog stroja i duljinom osovinskog voda, dok kod podtrupnih potisnika vijci mogu biti fiksni ili zakretni te imaju manju potrošnju pri većim brzinama od dizel mehaničke propulzije, jer su hidrodinamički optimalniji i jer imaju veći stupanj iskoristivosti. Razlog tome je što se koriste sinkroni motori sa permanentnim magnetom.

Sukladno tome manevarska svojstva broda bitno su povećana jer je sa zakretnim podtrupnim potisnicima moguće mijenjati smjer broda pri nepovoljnim valovima bez opterećenja kormila te potisnici nisu direktno ovisni i povezani sa pogonskim strojem. Osim smanjenja potrošnje, prednost električne propulzije je i u povećanju iskoristivosti brodskog prostora kao što je prikazano na slici 24.



a) Direktna dizel-mehanička propulzija



b) Dizel-mehanička propulzija s reduktorima



c) Električna propulzija s ugrađenim propulzijskim elektromotorima



d) Električna propulzija s podtrupnim potisnicima

Slika 24. Iskorištenje brodskog prostora kod različitih vrsta propulzije [Vučetić i Čekada 2006]

6.2. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE NA BRODU

Vrste obnovljivih izvora energije koje su primjenjive na brodu nove generacije su solarna energija, vjetroenergija te energija mora (plime i oseke, valovi i morske struje.)

Brodski elektroenergetski sustav u odnosu na kopneni elektroenergetski sustav ima širi raspon frekvencija, a duljine kabela su znatno kraće što doprinosi smanjenim elektroenergetskim gubicima te znatno manjim padovima napona. Upravljanje brodskim elektroenergetskim sustavom vrši se posebnim brodskim sustavom upravljanja koji za cilj ima optimalno upravljanje svim energetske resursima na brodu kao i potrošnjom električne i druge energije te sustav postaje sve složeniji primjenom obnovljivih izvora energije. Sustavi koji uključuju obnovljive izvore energije, dakle hibridni sustavi napajanja, imaju svoje mane. Hibridni sustav mora imati veću instaliranu snagu od klasičnog sustava zbog prirode obnovljivih izvora. Kod sustava s većim udjelom obnovljivih izvora energije može doći u pitanje i stabilnost sustava. Uključivanje obnovljivih izvora energije u brodski elektroenergetski sustav pridonosi se smanjenju emisija stakleničkih plinova, ali i štetnih organskih čestica. Spremanja energije u baterije za sada je najidealniji način zbog same prirode obnovljivih izvora energije. Solarni paneli tako su idealni za punjenje baterija. Međutim zbog upotrebe baterija međutim dolazimo do sljedećih problema. Najveći problem baterija u slučaju kad je instalirana snaga u baterijama dovoljno mala u usporedbi s cjelokupnom instaliranom snagom na brodu je održavanje temperature baterija unutar propisanih vrijednosti. Održavanje temperature u zadanim vrijednostima postiže se ograničavanjem struja i napona baterija. Hibridni sustavi s većim udjelom obnovljivih izvora u instaliranoj snazi predstavljaju veći izazov. Svojstvo baterija da ne mogu brzo doseći svoju instaliranu snagu može potencijalno ugroziti stabilnost elektroenergetskog sustava. Problem sporog odziva baterija bi se mogao riješiti ugradnjom zamašnjaka u hibridni sustav čija bi svrha bila premošćivanje manjka snage u periodu dok baterije ne dosegnu svoju nazivnu snagu što bi obnovljive izvore energije učinilo balansiranim.

Najpoznatiji svjetski brod na solarni pogon je Turanor Planet Solar. Ovaj brod od 31 m, katamaran, prekriven je sa solarnim pločama snage 93 kW koje opskrbljuju energijom i pogone dva elektromotora broda, svaki u svom trupu. Najveće je plovilo s takvim pogonom u svijetu, Sunčeva energija jedino mu je gorivo. Energija se pohranjuje u litij-ionske baterije koje teže 8,5 t te čine značajnu masu plovila. Autonomija rada za izostanka sunčeve svjetlosti je oko 3 dana.

Oblik trupova, sličan podmornici izrazito je hidrodinamičan i omogućava da brod dosegne brzine do 14čv (26 km/h), ploveći tako da reže valove i time znatno smanjuje otpor. Zbog revolucionarnog dizajna i specifičnosti pogona broda, rađeni su mnogi modeli i eksperimenti na njima kako bi se odredile nabolje značajke za što aerodinamičniji i hidrodinamičniji oblik broda.



Slika 25. Solarni brod – Turanor [preuzeto sa www.planetsolar.org]



Slika 26. Koncept broda sa solarnim i vjetropogonom [preuzeto sa www.ecomarinepower.com]

Na moru, kao i na kopnu, korištenje obnovljivih izvora energije se prepoznaje kao dio energetske potrebe suvremenog doba. Energija vjetra i sunca stoga će najvjerojatnije igrati važnu ulogu u pomaganju da se smanji korištenje goriva i emisije s brodova pogotovo što se dalje tehnologija obnovljivih izvora energije bude razvijala. Umjesto broda s krutim jedrima ili broda sa solarnim panelima bolji pristup bi bio dizajnirati sustav koji bi mogao koristiti energiju vjetra i sunca zajedno. Izazov u razvoju takvog rješenja je da se prevladaju mnogi od praktičnih problema, uključujući korištenja hibridnog jedra s ukomponiranim solarnim panelima na velikim brodovima koji plove u surovom morskom okolišu. Ova ideja o povezivanju snage vjetra i solarne energije nije nova, a 1990-ih je patent odobren u Sjedinjenim Američkim Državama, za solarni električni koncept broda u koji je ugrađeno tradicionalno mekano jedro opremljeno s fotonaponskim ćelijama. Ideje i koncepti koji kombiniraju jedra i solarne elektrane od kada je predstavljen nije u širokoj primjeni sve do danas te kao što je vidljivo na slici 26. postoje planovi kako naći njihovu primjenu i na velikim komercijalnim brodovima te se očekuje da će se situacija u bliskoj budućnosti značajno promijeniti.

7. ZAKLJUČAK

Suvremena brodogradnja već se okrenula gradnji visoko-sofisticiranih klasičnih trgovačkih brodova, ali i gradnji brodova velikih brzina, takozvanih brodova nove generacije.

Smjer kojim ide razvoj današnjih brodova teži prvenstveno smanjenju članova posade na brodu, smanjenju snage glavnog i pomoćnih strojeva, smanjenju potrošnje energije i goriva te smanjenju ispušne emisije. Pri projektiranju plovila osim podvodnog i nadvodnog izgleda i ljepote broda važno je osmišljavanje idealne forme koja omogućuje gibanja broda tako da otpor, koji pružaju voda i zrak, bude što manji.

Današnja svjetska brodogradnja pokušava odgovoriti potrebama za brzinom, te masovnim, sigurnim i udobnim prijevozom putnika i dobara. Rješenja navedena u ovom radu pokazuju da je moguć kompromis i kombiniranje različitih vrsta formi broda pri gradnji te da su mnoge mogućnosti tek u idejnom začetku. Budućnost pred svjetskom brodograđevnom industrijom je obećavajuća i danas kao nikad prije broj različitih vrsta brodova prema formi i vrsti pogona kao i ostalim značajkama je u tolikoj mjeri raznovrstan, da je gotovo i nemoguće izvršiti striktnu podjelu na vrste brodova kao što je to bilo moguće unazad nekoliko desetljeća.

Brodovi su napredovali do određene tehnološke granice gdje u nekim slučajevima primjena tehnologije kasni za unaprijed osmišljenim rješenjima. Broj velikih i malih proizvođača brodova raste a razvoj nautičkog turizma usmjerava suvremenu brodograđevnu industriju ka proizvodnji vrlo brzih i konceptualno zanimljivih brodova.

Iz svih ovih razloga ne bi trebalo začuditi da brodovi budućnosti budu ne samo vrlo brza plovila za prijevoz ljudi i dobara već i široko pristupačno i neizostavno prijevozno sredstvo kao i automobili te će možda svjetska mora jednom postati autoceste budućnosti.

LITERATURA

- [1] Rudan, D.; *Uvod u hidrodinamiku broda*, Sveučilište u Dubrovniku, Dubrovnik, 2006.
- [2] Vučetić, D.; Čekada, I.: *Eksploatacijske prednosti električne propulzije*, Rijeka 2006.
- [3] Nebylov, A.V.; *Controlled wig flight concept*, 2014.
- [4] Krčum, M.; Gudelj, A.; *Optimizacija sustava upravljanja energijom na plovilima*, Split 2015.
- [5] Dvornik, J.; *Konstrukcija, otpor i propulzija jahti*, Sveučilište u Splitu, 2013.
- [6] Matveev, I.; *Modeling of Vertical Plane Motion of fan Air Cavity Ship in Waves*, California Institute of Technology
- [7] Marasović, D; *Plovila nove generacije u hrvatskoj brodogradnji i istraživanje primjene novih formi – luksuz ili potreba*, Fakultet Strojarstva i Brodogradnje, Zagreb 2004.
- [8] URL: [http:// www.seseu.com](http://www.seseu.com).
- [9] URL: [http:// www.stingrayhydrofoil.com](http://www.stingrayhydrofoil.com)

POPIS ILUSTRACIJA

| | |
|--|----|
| Slika 1. Brod na zračnom jastuku | 2 |
| Slika 2. Američki vojni brod nove generacije | 3 |
| Slika 3. Grafički prikaz djelovanja sila otpora na brod [3] | 4 |
| Slika 4. Dijagram tehnološkog napretka brodova | 6 |
| Slika 5. Norveška SES korveta | 7 |
| Slika 6. Brod sa zračnom šupljinom..... | 8 |
| Slika 7. Grafički prikaz nagiba različitih brodova na valovima | 9 |
| Slika 8. Brod sa malom površinom vodene linije..... | 10 |
| Slika 9. Brod sa zračnom šupljinom..... | 11 |
| Slika 10. Prikaz šupljine u trupu ispunjene zrakom | 12 |
| Slika 11. Suvremena hidrokrila | 13 |
| Slika 12. Plovilo sa WIG efektom | 14 |
| Slika 13. Nacrt broda sa površinskim učinkom..... | 16 |
| Slika 14. Putnički brod ASV C24..... | 17 |
| Slika 15. Vodeni propulzor..... | 18 |
| Slika 16. Bočni izgled putničkog SES broda..... | 18 |
| Slika 17. Dijagram omjera snage i brzine SES broda i katamarana..... | 19 |
| Slika 18. Grafički prikaz rada ventilatora na lebdjelicama..... | 20 |
| Slika 19. Plovilo sa WIG efektom..... | 21 |
| Slika 20. Ekranoplov..... | 22 |
| Slika 21. Solarni brod..... | 23 |
| Slika 22. Grafički prikaz 4 stupnja prijenosa energije na brodu..... | 24 |
| Slika 23. Podtrupni potisnik..... | 25 |
| Slika 24. Iskorištenje broskog prostora kod različitih vrsta propulzije..... | 26 |
| Slika 25. Solarni brod – Turanor..... | 28 |
| Slika 26. Koncept broda sa solarnim i vjetropogonom..... | 29 |

POPIS KRATICA

| | |
|---|---------------------------------------|
| Čv (engl. <i>knots</i>) | čvor |
| SES (engl <i>Surface Effect Ship</i>) | brodovi sa površinskim učinkom |
| WIG (engl. <i>Wing in Ground effect</i>) | efekt krila pri morskoj površini |
| m | metar |
| R | otpor |
| RF | Sila otpora viskoznog trenja |
| RW | Sila otpora valova |
| RE | Sila otpora vrtloga |
| RA | Sila otpora vjetra |
| V | Konstantna brzina broda |
| Km/h | Kilometar/sat |
| L/D | Odnos dinamičkog uzgona i otpora |
| W/T | Odnos težine i snage poriva |
| kW | Kilovat |
| KS | Konjska snaga |
| SWATH (eng. <i>Small Waterplane Twin Hull</i>) | Brod sa malom površinom vodene linije |
| AZIPOD (eng. <i>Azimuth Podded Drive</i>) | Podtrupni potisnik |
| t | Tona |